

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-267926

(43)公開日 平成6年(1994)9月22日

(51)Int.Cl.³

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/306

B 9278-4M

C 2 3 F 4/00

A 8414-4K

H 0 1 L 29/84

A 9278-4M

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-52548

(22)出願日 平成5年(1993)3月12日

(71)出願人 000001007

キャノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 山本 智子

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ
ノン株式会社内

(72)発明者 八木 隆行

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ
ノン株式会社内

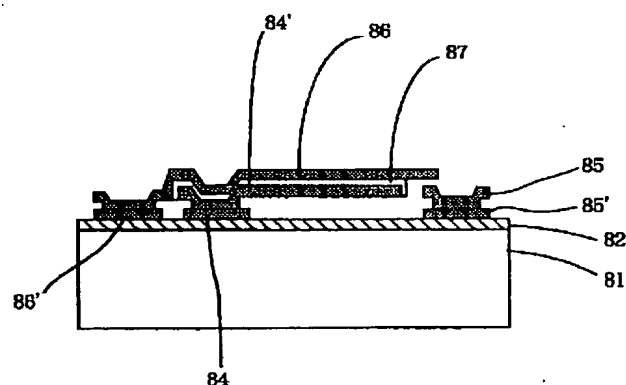
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 エッチング工程およびこれを用いた静電マイクロスイッチ

(57)【要約】

【目的】 温度変化や温度刺激に強く、フッ化水素酸によるエッチングや機械的な刺激にも耐え得る耐性の強い窒化シリコン膜による静電マイクロスイッチのエッチング工程、および該工程により得られる再現性の良い自由度のある静電マイクロスイッチを提供する。

【構成】 窒化シリコン膜の応力を $3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 以下として基板上に酸化シリコン膜とパターニングされた多結晶シリコン膜を形成し、該酸化シリコン膜下部に形成した窒化シリコン膜をエッチング停止層として、酸化シリコン膜をエッチングする工程(および酸化シリコン膜がスパッタ法によるもの、または窒化シリコン膜が低圧化学気相成長法によるもの)により、再現性の良い自由度のある静電マイクロスイッチが提供される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 エッチングマスクあるいはエッチング停止層として窒化シリコン膜を用いるエッチング工程において、該窒化シリコン膜の応力(σ)が、

【数1】 $|\sigma| \leq 3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$

であることを特徴とするエッチング工程。

【請求項2】 基板上に犠牲層となる酸化シリコン膜とパターニングされた多結晶シリコン膜を形成した後、該酸化シリコン膜下部に形成した窒化シリコン膜をエッチング停止層として酸化シリコン膜をエッチングする工程において、該窒化シリコン膜の応力(σ)が、

【数2】 $|\sigma| \leq 3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$

であることを特徴とするエッチング工程。

【請求項3】 前記犠牲層となる酸化シリコン膜が、スパッタ法で作成したものであることを特徴とする請求項2記載のエッチング工程。

【請求項4】 前記窒化シリコン膜が、低圧化学気相成長法により成膜したものであることを特徴とする請求項1または2に記載のエッチング工程。

【請求項5】 エッチング停止層となる窒化シリコン膜におおわれた基板上に、固定下電極と空隙を介して一方が固定支持された可動電極板、該可動電極板と第2の絶縁膜を介したスイッチ用可動電極、スイッチ用固定電極および駆動手段からなり、該駆動手段により可動電極板がたわみ、スイッチ用可動電極の先端が下降し、スイッチ用固定電極に接触してスイッチ用可動電極とスイッチ用固定電極が導通となる静電マイクロスイッチであって、該駆動手段が可動電極板と固定下電極の間に電圧を印加することにより発生する静電力であり、且つ該窒化シリコン膜の応力(σ)が、

【数3】 $|\sigma| \leq 3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$

であることを特徴とする静電マイクロスイッチ。

【請求項6】 前記基板が、酸化シリコン膜を形成したシリコン基板であることを特徴とする請求項5記載の静電マイクロスイッチ。

【請求項7】 前記固定下電極、可動電極板、スイッチ用可動電極およびスイッチ用固定電極が、多結晶シリコンよりなり、且つ、前記空隙が、酸化シリコン膜で形成され、可動電極板およびスイッチ用電極を形成した後、前記窒化シリコン膜をエッチング停止層として該酸化シリコン膜をエッチング除去することにより形成されてなることを特徴とする請求項5記載の静電マイクロスイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、静電マイクロスイッチを得るために用いる特定のエッチング工程ならびに該工程を用いて得られる静電マイクロスイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、フォトリソグラフィ技術等の半導

体プロセスを用い、極めて小型の力学量センサーや、アクチュエータ等が半導体基板上に作成されている。典型的な微小機械として、マイクロモータ (M. Mehregany et al., "Operation of microfabricated harmonic and ordinary side-drive motors", Proceedings IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop 1990 pp.1-8) や、リニアマイクロアクチュエータ (W.C. Tang et al., "Laterally Driven Polysilicon Resonant Microstructures", Sensor and actuator 20(1989) pp.25-32) 等が提案されている。これらの微小機械を用いるとアレイ化、低コスト化が容易となり、高精度化が可能となる。

【0003】 これらの微小機械を形成するために、特に犠牲層エッチング技術は半導体プロセスには無いアクチュエータ等作製の特徴的、且つ重要な技術である。数 μm 程度の膜厚の犠牲層アンダーカットを見込んだエッチングにより、構造体の下まで廻り込んで除去するものである。

【0004】 現在は、上記のアクチュエータのように多結晶シリコン構造体を形成するために、酸化シリコン膜を犠牲層とし、フッ化水素酸をエッチング液として用いる方法、マイクロミラーをアルミニウム構造体でレジスト犠牲層として、酸素プラズマアッシング除去して作製する方法 (特開平2-8812) およびスイッチング素子を酸化シリコン構造体で、単結晶シリコンを犠牲層とし、水酸化カリウムをエッチング液として作製する方法 (K.E. Petersen "Dynamic Micromechanics Silicon: Techniques and Devices" vol. ED-25 no.10(1978) p.1241) (図10) 等が提案されている。それぞれ使用する構造体の材料によって、犠牲層、およびエッチング液に何を用いるかが決定される。

【0005】 このうち、多結晶シリコン構造体は、比較的微細構造を形成し易く、またヤング率および降伏応力も大きい値を有するので、アクチュエータ等の微小機械に適している。通常多結晶シリコン構造体を作成する場合、犠牲層に酸化シリコンを用い、犠牲層除去をフッ化水素酸により行い、また、犠牲層エッチング停止層としては窒化シリコン膜が用いられる。

【0006】 この窒化シリコン膜には、エッチング停止層となると共に、水分および Na^+ の拡散を防ぎ、また絶縁性も良く、且つ膜の均一性も良いという利点がある。しかし一方、内部応力が大きいという欠点がある。このため、積層時あるいは犠牲層エッチング時、温度を充分制御しないと他の積層膜との熱膨張係数の違いによる熱応力等の外部からの刺激を受けて、窒化膜にクラックが入ったり、剥離したりするという問題があった。

【0007】 また、エッチングの終了後、膜中に潜在するマイクロクラック等により、あるいは洗浄中の流水による刺激や温度変化等によっても、クラックが全体に広がったり、剥離したりすることがあった。このため絶縁

3

層としての酸化シリコン膜までエッチングされたり、膜が多結晶シリコン構造体ごと剥離したりして、歩留まりが高く再現性の良い多結晶シリコン構造体を作製するのは困難であった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、上記のような問題のない、温度変化や温度刺激に強く、またフッ化水素酸によるエッチングや、機械的な刺激にも耐えられるような、耐性のある窒化シリコン膜による静電マイクロスイッチのエッチング工程および該工程を用いて得られる静電マイクロスイッチを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため本発明は下記の構成を有する。すなわち、本発明の第1は、エッチングマスクあるいはエッチング停止層として窒化シリコン膜を用いるエッチング工程において、窒化シリコン膜の応力が、 $3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 以下であることを特徴とするエッチング工程であり、また、第2は、基板上に犠牲層となる酸化シリコン膜とパターンニングされた多結晶シリコン膜を形成した後、該酸化シリコン膜下部に形成した窒化シリコン膜をエッチング停止層として、酸化シリコン膜をエッチングする工程において、該窒化シリコン膜の応力が、 $3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 以下であることを特徴とする第1に記載のエッチング工程であり、第3は、前記犠牲層となる酸化シリコン膜をスパッタ法により作製したことを特徴とするエッチング工程であり、第4は、前記窒化シリコン膜を低圧化学気相成長法により成膜したことを特徴とする第1または2に記載のエッチング工程であり、第5は、エッチング停止層となる窒化シリコン膜におおわれた基板上に固定下電極と、空隙を介して一方が固定支持された可動電極板と、絶縁膜を介したスイッチ用可動電極と、スイッチ用固定電極および駆動手段からなり、該駆動手段により可動電極板がたわみ、スイッチ用可動電極の先端が下がり、スイッチ用固定電極に接触してスイッチ用可動電極とスイッチ用固定電極が導通となる静電マイクロスイッチであって、該駆動手段が可動電極板と固定下電極の間に電圧を印加することにより発生する静電力であり且つ、該窒化シリコン膜の応力が、 $3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 以下であることを特徴とする静電マイクロスイッチであり、第6は、前記基板が酸化シリコン膜を形成したシリコン基板であることを特徴とする第5に記載の静電マイクロスイッチであり、第7は、前記固定下電極、可動電極板、スイッチ用可動電極およびスイッチ用固定電極が多結晶シリコンからなり、空隙が酸化シリコン膜で形成され、可動電極板およびスイッチ用電極を形成した後、窒化シリコン膜をエッチング停止層として酸化シリコンをエッチング除去することにより形成されたことを

4

特徴とする第5に記載の静電マイクロスイッチである。

【0010】上記のような特徴を有する工程により、上記のような構成を有する静電マイクロスイッチ構造体になると、窒化シリコン膜は犠牲層エッチング停止層として、成膜時あるいは熱処理時においても熱膨張等の温度刺激を配慮する必要がなくなる。また、エッチング中あるいはエッチング後の温度変化や洗浄中等の物理的な刺激等にも耐えることができるので、クラックが入ったり剥離したりする恐れもなくなり、耐性のある窒化シリコン膜による静電マイクロスイッチのエッチング工程および該工程を用いて得られる静電マイクロスイッチを得ることができる。

【0011】

【実施例】本発明の詳細を以下の実施例および図に基いて説明するが、本発明がこれらによって限定されるものではない。

【0012】実施例1

図1に、本発明の多結晶シリコン構造体の膜構成等の特徴を最も良く表す一例（実施例1）の断面図を示す。図中、11はシリコン基板、12はシリコン窒化膜、13は多結晶シリコン構造体を表わす。

【0013】図2に、実施例1の片持ち梁の作製工程を示す。通常、窒化シリコン膜とは密着性の良くないシリコン基板21に、低圧化学気相成長法によりシリコン窒化膜22を膜厚150nmに成膜する（図2（a））。成膜条件として、反応気体に SiH_2Cl_2 と NH_3 の混合気体を用い、気体流量比を変化させて成膜した。この上に、犠牲層となる酸化シリコン膜23を膜厚2 μm にスパッタ法により作製し、フォトリソグラフィによりパターンニングする（図2（b））。

【0014】この上に、多結晶シリコン膜24を低圧化学気相成長法により膜厚2 μm に形成し、フォトリソグラフィでパターンニングする（図2（c））。最後に、50%のフッ化水素酸に15分間浸して犠牲層を除去した後、純水に3分間浸し、流水洗浄を行った。窒化シリコン膜22は低圧化学気相成長法で作製し、形成条件は基板温度850℃、反応気体に SiH_2Cl_2 と NH_3 の混合気体を用い、流量を20ccm/0~60ccmとした。

【0015】また、作製した膜はレーザー微小変位測定器（IONIC SYSTEMS 製、商品名stress gauge auto cal model no.30114）で応力を測定した。図3（a）、

（b）に実際に作製した窒化シリコン膜の流量比と応力の関係を示す。 NH_3 の流量比が増加するにしたがって応力が增大していく様子がわかる。これらの膜を用い本実施例1の多結晶シリコンの片持ち梁を作製した。表1に、作製後の片持ち梁の窒化膜の状態をまとめて示す。

【0016】

【表1】

表1

窒化シリコン膜の応力	犠牲層エッチング時	流水洗浄時
$5 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ (C)	△	×
$3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ (C)	○	○
$1 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ (T)	○	○
$3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ (T)	○	○
$4 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ (T)	△	×
$8 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ (T)	×	—

尚、表中の (C) は Compression を、また (T) は Tension を意味する。さらに、○はクラックの入らなかったもの、×は全面クラックが入ったり剥離したりしたもの、△は一部クラックの入ったものを表わす。

【0017】窒化シリコン膜の応力が $1 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ と、 $3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ の膜を用いた場合は、密着性の良くないシリコン基板上にあっても、流水洗浄後も窒化シリコン膜にクラックが入ったり剥離したりすることはなかった。しかし、 $4 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ の作製試料は、フッ化水素による犠牲層除去の最中あるいは流水洗浄時に、クラックが入るか剥離してしまい片持ち梁を再現性良く作製することができなかつた。また、窒化シリコン膜の応力が、 $8 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ のものは、犠牲層エッチングの最中にすべての試料が崩れてしまった。

【0018】これより、熱耐性、フッ化水素酸耐性、機械的な刺激に対する強度等を考慮して、犠牲層エッチングの停止層には、膜応力が $3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 以下の窒化シリコンが適していることがわかる。上記のよう 30 に、本発明による窒化シリコン膜を用いることによって、多結晶シリコン構造体を再現性良く作製することが可能となった。

【0019】ここでは基板としてシリコンを用いたが、上記の窒化シリコン膜が形成できるものであれば如何なる材料を用いてもよい。また、犠牲層となる酸化シリコン膜の作製方法も、膜厚が制御できるものであれば如何なる方法を用いてもよい。

【0020】さらには、磷酸系酸化シリコン膜やほう酸系酸化シリコン膜等、不純物を含有する酸化シリコン膜を用いると、よりフッ化水素酸に溶けやすくなり、犠牲層エッチングの際、時間を短縮することが可能となる。

【0021】また、窒化シリコン膜の作製方法としても、膜厚が制御でき基板温度や反応気体の種類や流量により応力の制御が可能な成膜方法であれば、作製方法には特に制約はないが、平坦性およびフッ化水素酸耐性を考慮した場合、低压化学気相成長法による膜が好ましい。もちろん、多結晶シリコン構造体についても膜厚制御可能なものであれば、作製法には何ら制限されるものはない。

【0022】実施例2

図4および5に、実施例2における片持ち梁の断面図、および作製工程図を示す。41はシリコン基板、42は酸化シリコン膜、43は窒化シリコン膜、44および45は多結晶シリコン構造体を表わす。

【0023】この構造体の作製工程を図5に基づいて説明する。まず、シリコン基板51に絶縁膜として熱酸化処理により酸化シリコン膜52を膜厚 $1 \mu\text{m}$ に形成する。この上に窒化シリコン膜53を低压化学気相成長法により膜厚 300 nm に堆積する。膜厚が厚くなるほど応力の影響は顕著になるので 300 nm という膜厚を得ることは通常困難である。成膜条件として、基板温度 850°C 、反応気体を SiH_2Cl_2 と NH_3 の混合気体とし、流量比を変化させて構造体を形成した。

【0024】この窒化シリコン膜をフォトリソグラフィによりパターニングする。さらに、パターニングされた窒化シリコン膜をマスクとして、酸化シリコン膜をパターニングする(図5(a))。この上に、多結晶シリコン54を低压化学気相成長法により積層しパターニングする(図5(b))。以降は実施例1と同様、この上に犠牲層となる酸化シリコン膜55を、膜厚 $2 \mu\text{m}$ に形成してパターニングする(図5(c))。

【0025】さらに、多結晶シリコン構造体56を形成し(図5(d))、犠牲層55を除去する(図5

(e))。実施例1と同一の応力で、膜厚の厚い膜を用いてこの構造体を形成したところ、同様に応力が $1 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 、と $3 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ の場合は、再現性良く片持ち梁が形成できたものの、 $4 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ 以上ではクラックが入るか、または剥離するかで破壊した。以上より、 300 nm の膜厚を持つ窒化シリコン膜でも、本発明による窒化シリコン膜を用いることにより多結晶シリコン構造体を再現性良く作製することが可能となった。

【0026】作製した片持ち梁は、基板とドーピング処理を施した多結晶シリコンの間に電圧を印加することにより、静電力を用いたアクチュエータにもなり得る。また、基板上に形成する絶縁膜はもちろん、膜厚の制御が可能で絶縁膜となり得る膜であれば、酸化シリコン膜でなくともよいが、平坦性の良さ、均一性を考慮すると熱

7

酸化シリコン膜が好ましい。

【0027】(適用例) 図6および7に、犠牲層エッチング技術を用いて作製した静電アクチュエータの平面図および断面図を示す。61、62は固定電極、63の可動電極はコンタクトホール64、64'で固定されており、梁65、65'をバネとして動くよう構成されている。固定電極61、62と可動電極63の間に電圧をかけると静電引力が働き、これにより可動電極63が平行運動を行う(図6)。

【0028】作製方法としては、まずシリコン基板71上に絶縁膜として酸化シリコン膜72を膜厚1 μ mに形成する。この上に、犠牲層エッチング停止層として本発明のシリコン窒化膜73を低圧化学気相成長法により形成する。成膜条件は、基板温度850℃、流量をSiH₂Cl₂とNH₃を用いて20sccm/10sccm、とし、応力を3 $\times 10^9$ dyn/cm²の引っ張り応力とした。次に、多結晶シリコン74を膜厚300nmに成膜しパターンニングする。

【0029】この多結晶シリコンは、反応気体にドーピング材の含有した原料を用いるか、あるいは成膜後イオン注入する手法等で導電性処理を施しておく。次に犠牲層として酸化シリコン膜75を膜厚2 μ mに成膜し、パターンニングする。そして、この上に固定電極および可動電極となる導電性処理を施した多結晶シリコン構造体76を形成する(図7)。

【0030】最後にフッ化水素酸により犠牲層を除去し、静電アクチュエータを得る。本発明の窒化膜を用いることにより、歩留まりが向上した。この他にも、マイクロモータ、マイクロポンプ等、酸化シリコン膜を犠牲層とし、窒化シリコン膜をエッチング停止層として用いる工程では、本発明の窒化シリコン膜を用いることにより歩留まりよく構造体を形成することが可能である。

【0031】(応用例) 図8に静電マイクロスイッチの斜視図、図9に図8のA-A'面で切断した断面図を示す。固定下電極83と可動電極板84'の間に電圧をかけると静電引力により可動電極板84'はたわむ。これにより、スイッチ用固定電極85とスイッチ用可動電極86が接触して85'と86'が導通となりスイッチONの状態となる。

【0032】従来の静電マイクロスイッチは、単結晶シリコンを異方性エッチングして形成していた。さらに固定下電極としてp+エピタキシャル層、可動電極板として酸化シリコン膜、スイッチ用電極として金属薄膜を用いていた。このため、基板はシリコンに限られ、形状の自由度はほとんどなかった。また電極板の下側が全面下電極となってしまうので、スイッチ用電極に電圧を印加してもたわみを生じていた。また、スイッチ用電極に用いていた金属薄膜の単結晶シリコンエッチャントに対する耐性にも問題があった。

【0033】この静電スイッチの作製方法を以下に説明

8

する。はじめに、シリコン基板81に犠牲層エッチング停止層として、本発明の窒化シリコン膜82を膜厚150nmに成膜する。成膜条件は、基板温度850℃、流量をSiH₂Cl₂/NH₃=20sccm/5sccmとし、応力を1 $\times 10^9$ dyn/cm²の引張応力とした。次に下電極として多結晶シリコン83、84、85'および86'を膜厚300nmに形成する。

【0034】この上に犠牲層の酸化シリコン膜を膜厚1.5 μ mに成膜パターンニングする。次に、可動電極84'と、スイッチ用固定電極85となる多結晶シリコンを、膜厚1.5 μ mに形成し、さらに可動電極84'の上に第2の窒化シリコン膜87を成膜パターンニングする。成膜条件としては、第1の窒化シリコン膜と同様であり、応力は1 $\times 10^9$ dyn/cm²の引張り応力となっている。この窒化シリコン膜87もフッ化水素酸にさらされるので本発明の窒化シリコン膜であることが好ましい。

【0035】さらに、この窒化シリコン膜87の上に多結晶シリコンのスイッチ電極86を形成する。最後に、犠牲層をフッ化水素酸で除去し、多結晶シリコンで静電マイクロスイッチを作製した。これは、単結晶シリコンを用いて形成した場合、スイッチ用電極に電圧を印加することにより、可動電極板が基板に引きつけられてしまう問題点を、固定下電極の位置および形状を自由に設計することによって回避できる。

【0036】また、スイッチ用電極材がシリコンであるため、耐久性も向上する。本発明の窒化シリコン膜を用い且つ、本発明の構成により、歩留まりよく静電スイッチを作製することが可能となった。また、駆動用電極を固定下電極を形成するのではなく、基板にドーピング処理を施して電極として用いることもできる。

【0037】

【発明の効果】上記のように、本発明のエッチング工程によって、多結晶シリコン構造体の形成に必要な犠牲層エッチング停止層として、(1)熱処理や多結晶シリコンの成膜時温度等の熱刺激に強く、(2)フッ化水素酸エッチングに対する十分な耐性を有し、(3)流水洗浄等の機械的刺激にも耐性の強い窒化シリコン膜を得ることができる。

【0038】これによって窒化膜にクラックが入ったり剥離したりすることがなくなり、再現性良く多結晶シリコン構造体を作製することができる。さらに、電極の位置を自由に設定することができ、形状に自由度のある静電マイクロスイッチを作製することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の片持ち梁を示す模式断面図。

【図2】実施例1の片持ち梁の作製工程を示す模式図。

【図3】窒化シリコン膜の応力と成膜中の気体流量の関係を示す図。

【図4】実施例2の片持ち梁を示す模式断面図。

【図5】実施例2の片持ち梁の作製工程を示す模式図。

【図6】本発明適用例の静電アクチュエータを示す模式平面図。

【図7】本発明適用例の静電アクチュエータを示す模式断面図。

【図8】本発明の静電マイクロスイッチを示す概略斜視図。

【図9】本発明の静電マイクロスイッチを示す模式断面図。

【図10】従来の静電マイクロスイッチを示す概略斜視図。

【符号の説明】

11, 21, 41, 51, 71, 81 シリコン基板
12, 22, 43, 53, 73, 82, 87 窒化シリコン膜
13, 24, 44, 45, 54, 56, 74, 76 多

結晶シリコン構造体

23, 55, (75) 酸化シリコン犠牲層膜

42, 52, 72 酸化シリコン絶縁層膜

61, 62 楕円固定電極

63 楕円可動電極

64, 64' コンタクトホール

65, 65' 梁

(75) 空隙

83 固定下電極

84', 102 可動電極板電極

85, 103 スイッチ用固定電極

86, 102 スイッチ用可動電極

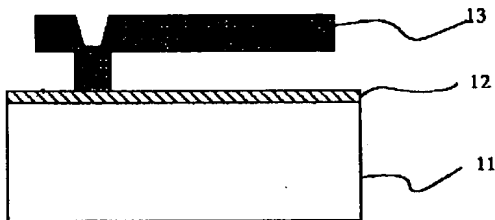
84, 85', 86' 下電極

104 酸化シリコン膜

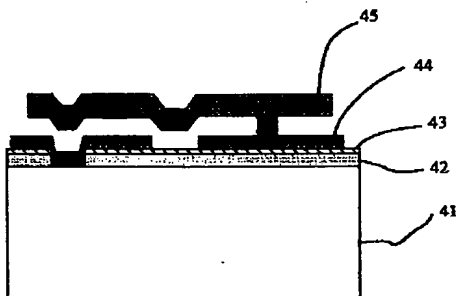
105 シリコンエピタキシャル膜

106 p+単結晶シリコン

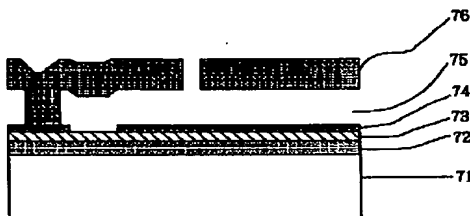
【図1】



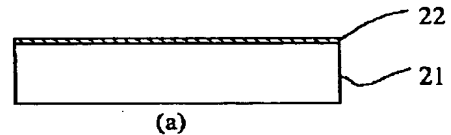
【図4】



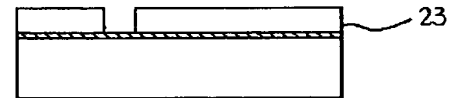
【図7】



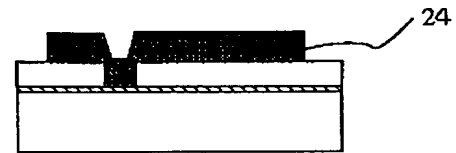
【図2】



(b)



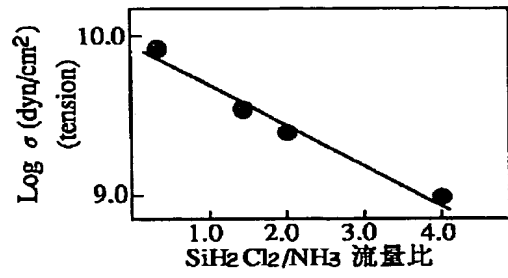
(c)



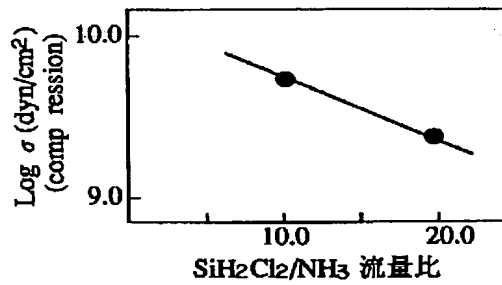
(d)



【図3】

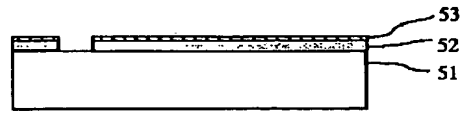


(a)

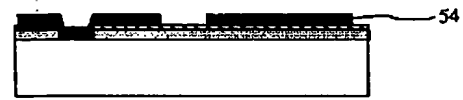


(b)

【図5】



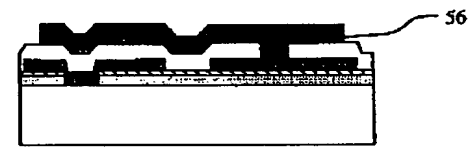
(a)



(b)



(c)

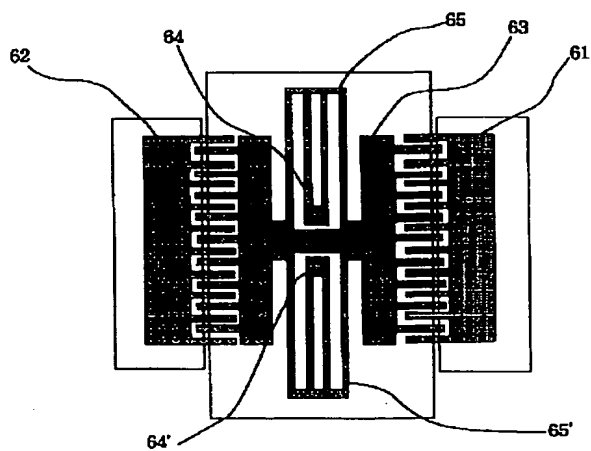


(d)

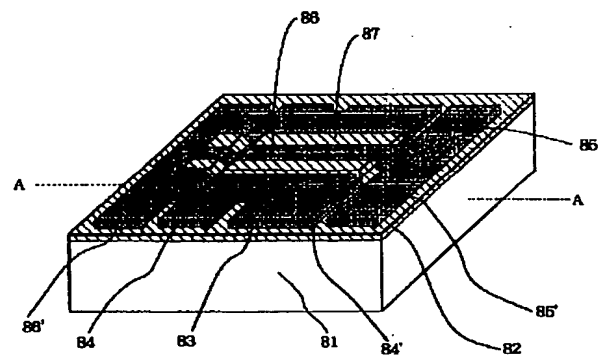


(e)

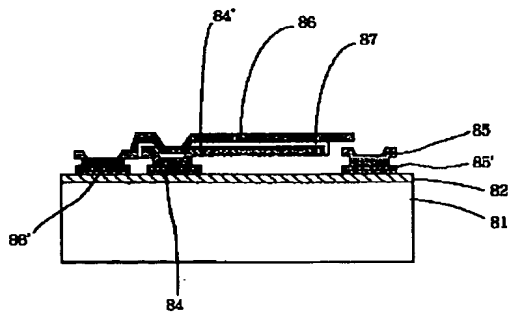
【図6】



【図8】



【図9】



【図10】

